

POWERED BY **Dialog**

---

**IMAGE PROJECTION METHOD AND MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR DEVICE USING THE SAME****Publication Number:** 05-047628 (JP 5047628 A) , February 26, 1993**Inventors:**

- HAYATA SHIGERU

**Applicants**

- CANON INC (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

**Application Number:** 03-225225 (JP 91225225) , August 09, 1991**International Class (IPC Edition 5):**

- H01L-021/027
- G03F-007/20

**JAPIO Class:**

- 42.2 (ELECTRONICS--- Solid State Components)
- 29.1 (PRECISION INSTRUMENTS--- Photography & Cinematography)

**Abstract:**

**PURPOSE:** To increase the resolution by forming an effective light source constituted of four primary parts and four auxiliary parts in a pupil of a projection optical system, and by so locating the four primary parts as to be symmetrical about the axis of the coordinate system having the x and the y axis in the direction of a longitudinal and a lateral pattern of a fine pattern.

**CONSTITUTION:** A diaphragm 30A of an illumination optical system 30 and a diaphragm 50A of a projection lens system 50 are so located as to be conjugate to each other. An image of an aperture of the diaphragm 30A is projected in a circular aperture of the diaphragm 50A. An effective light source formed in the pupil 50A is constituted of four primary parts 21a-21d and four auxiliary parts 22a-22d. The axes of the coordinates of an x-y coordinate system with the center of the pupil 50A as the origin are allowed to agree with the direction of a longitudinal and a lateral pattern of a reticule M. The center of gravity of the intensity of the primary parts 21a-21d is located at a distance RA from the center of the pupil 50A and is on a straight line which forms plus or minus 45 deg. with the x and the y axis. The center of gravity of the intensity of the auxiliary parts 22a-22d is located at a distance RB from the center and is on the x and the y axis. The depth of resolution is adjusted by adjusting the intensity of the primary parts and the auxiliary parts according to the pattern. (From: *Patent Abstracts of Japan*, Section: E, Section No. 1389, Vol. 17, No. 340, Pg. 107, June 28, 1993 )

JAPIO

© 2003 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 4055928

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-47628

(43)公開日 平成5年(1993)2月26日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 F 7/20	5 2 1	7818-2H		
		7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	3 1 1 L

審査請求 未請求 請求項の数12(全 19 頁)

(21)出願番号 特願平3-225225

(22)出願日 平成3年(1991)8月9日

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 早田 滋

神奈川県川崎市中原区今井上町53番地 キ

ャノン株式会社小杉事業所内

(74)代理人 弁理士 高梨 幸雄

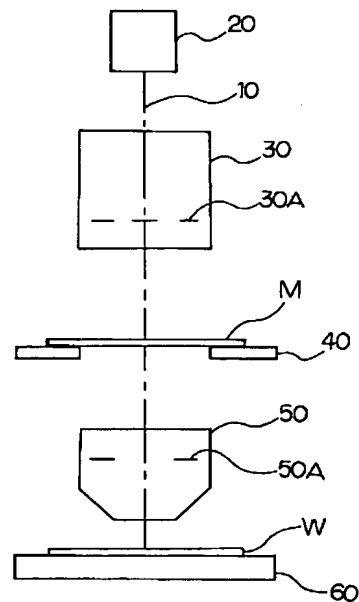
(54)【発明の名称】 像投影方法及びそれを用いた半導体デバイスの製造方法

(57)【要約】

【目的】 パターン形状方向により最適な照明方法を用いて高解像力で投影露光が可能な像投影方法及びそれを用いた半導体デバイスの製造方法を得ること。

【構成】 微細パターンを照明し、該微細パターンで生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて該微細パターンの像を投影する方法において、前記瞳に以下の条件をほぼ満たす有効光源を形成する光で前記微細パターンを照明することを特徴とする像投影方法。

条件：前記瞳の中心を原点とし前記微細パターンの縦横パターンの各方向にx、y軸を有するxy座標系を定めた時に、前記有効光源が、各々が(a, a)、(-a, a)、(-a, -a)、(a, -a)の位置近傍にある互いに光量がほぼ等しい4個の主部分と、互いに光量がほぼ等しい4個の補助部分と、を含むこと。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 微細パターンを照明し、該微細パターンで生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて該微細パターンの像を投影する方法において、前記瞳に以下の条件をほぼ満たす有効光源を形成する光で前記微細パターンを照明することを特徴とする像投影方法。

条件：前記瞳の中心を原点とし前記微細パターンの縦横パターンの各方向に $x$ 、 $y$ 軸を有する $xy$ 座標系を定めた時に、前記有効光源が、各々が $(a, a)$ 、 $(-a, a)$ 、 $(-a, -a)$ 、 $(a, -a)$ の位置近傍にある互いに光量がほぼ等しい4個の主部分と、互いに光量がほぼ等しい4個の補助部分と、を含むこと。

【請求項2】 前記4個の補助部分の各々が前記 $xy$ 座標系の第1乃至第4象限に個別に形成されることを特徴とする請求項1の像投影方法。

【請求項3】 前記4個の補助部分の各々が互いに離れた一対の部分より成ることを特徴とする請求項2の像投影方法。

【請求項4】 前記4個の補助部分の各々が前記 $xy$ 座標系の前記 $x$ 、 $y$ 軸上に形成されることを特徴とする請求項1の像投影方法。

【請求項5】 前記 $x$ 、 $y$ 軸上に形成される前記4個の補助部分の位置が、各々 $(a, 0)$ 、 $(0, a)$ 、 $(-a, 0)$ 、 $(0, -a)$ に設定されることを特徴とする請求項4の像投影方法。

【請求項6】 前記4個の補助部分の光量が前記4個の主部分の光量より小さく設定されることを特徴とする請求項1～5のいずれか一項の像投影方法。

【請求項7】 回路パターンを照明し、該回路パターンで生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて該回路パターンの像をウエハー上に投影し、該ウエハーに該回路パターン像を転写することにより半導体デバイスを製造する半導体デバイスの製造方法において、前記瞳に以下の条件を満たす有効光源を形成する光で前記微細パターンを照明することを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

条件：前記瞳の中心を原点とし前記微細パターンの縦横パターンの各方向に $x$ 、 $y$ 軸を有する $xy$ 座標系を定めた時に、前記有効光源が、各々が $(a, a)$ 、 $(-a, a)$ 、 $(-a, -a)$ 、 $(a, -a)$ の位置近傍にある互いに光量がほぼ等しい4個の主部分と、互いに光量がほぼ等しい4個の補助部分と、を含むこと。

【請求項8】 前記4個の補助部分の各々が前記 $xy$ 座標系の第1乃至第4象限に個別に形成されることを特徴\*

これは、光学系が許容できる焦点深度を一定とすると解像力が波長の平方根

$(\sqrt{\lambda})$  反比例して大きくなる効果を狙ったものである。

一方、投影光学系の $NA$ の大きくしたり露光光の波長を短くしたりする方法とは別に、レチクルに対する照明法を代えることにより装置の解像力を上げる方法がある。

\*とする請求項7の像投影方法。

【請求項9】 前記4個の補助部分の各々が互いに離れた一対の部分より成ることを特徴とする請求項8の像投影方法。

【請求項10】 前記4個の補助部分の各々が前記 $xy$ 座標系の前記 $x$ 、 $y$ 軸上に形成されることを特徴とする請求項7の像投影方法。

【請求項11】 前記 $x$ 、 $y$ 軸上に形成される前記4個の補助部分の位置が、各々 $(a, 0)$ 、 $(0, a)$ 、 $(-a, 0)$ 、 $(0, -a)$ に設定されることを特徴とする請求項10の像投影方法。

【請求項12】 前記4個の補助部分の光量が前記4個の主部分の光量より小さく設定されることを特徴とする請求項7～11のいずれか一項の像投影方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は像投影方法及びそれを用いた半導体デバイスの製造方法に関し、特に $0.5\mu m$ 以下の線幅の回路パターンをウエハーに形成する際に好適な、改良された像投影方法及びそれを用いた半導体デバイスの製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 $IC$ 、 $LSI$ 等の半導体デバイスの高集積化は益々加速度を増しており、これに伴って微細加工技術も著しい進展を見せている。特に、半導体デバイスの製造過程における加工技術の中心を成す露光技術は、 $1\text{メガ}DRAM$ を境にサブミクロンの領域に踏み込んだ。この露光用の装置として代表的なものが、所謂ステッパーと呼ばれる縮小投影露光装置であり、この装置の解像力が半導体デバイスの将来を担っていると言っても過言ではない。

【0003】従来、この装置の解像力を向上させる為に用いられてきた手法は、主として投影光学系（縮小レンズ系）の開口数（ $NA$ ）を大きくしていく手法であった。しかしながら、投影光学系の焦点深度は $NA$ の2乗に反比例する為、 $NA$ を大きくすると焦点深度が小さくなり、ウエハー上にコントラストの良い像を形成するのが難しくなるといった問題が生じる。

【0004】従って、最近では露光に使用する光を $g$ 線（ $436nm$ ）から $i$ 線（ $365nm$ ）或は $KrF$ エキシマレーザー光（ $248nm$ ）に代えるといった、露光光の短波長化による解像力の向上が図られている。

【0005】

【外1】

これは、光学系が許容できる焦点深度を一定とすると解像力が波長の平方根

この方法は、投影光学系の瞳に円環状の有効光源（0次光が形成する仮想光源）を形成する光でレチクルを照明するものであり、レチクルの微細な回路パターンで生じ

る回折光（0次光と1次光）を投影光学系の瞳に入射させることが可能である。尚、円環状の有効光源を形成する光は、装置の照明系中の投影光学系の瞳と共役な位置に円環状の2次光源を形成することにより供給される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、この照明法では投影光学系の焦点深度が余り改善されないで、この照明法を投影露光装置に適用してもコントラストの良い像を得ることは難しい。

【0007】本発明は投影焼き付けを行なう対象とするパターン形状の方向性に依りて適切な照明方法を適用し、高い解像力が容易に得られる像投影方法及びそれを用いた半導体デバイスの製造方法の提供を目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の像投影方法は、微細パターンを照明し、該微細パターンで生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて該微細パターンの像を投影する方法において、前記瞳に以下の条件をほぼ満たす有効光源を形成する光で前記微細パターンを照明することを特徴とする像投影方法。

【0009】条件：前記瞳の中心を原点とし前記微細パターンの縦横パターンの各方向にx、y軸を有するxy座標系を定めた時に、前記有効光源が、各々が(a, a)、(-a, a)、(-a, -a)、(a, -a)の位置近傍にある互いに光量がほぼ等しい4個の主部分と、互いに光量がほぼ等しい4個の補助部分と、を含むこと、としている。

【0010】特に本発明では、前記4個の補助部分の各々が前記xy座標系の第1乃至第4象限に個別に形成されることや、又は前記4個の補助部分の各々が互いに離れた一対の部分より成ること、又は前記4個の補助部分の各々が前記xy座標系の前記x、y軸上に形成されること、又は前記x、y軸上に形成される前記4個の補助部分の位置が、各々が(a, 0)、(0, a)、(-a, 0)、(0, -a)に設定されること、又は前記4個の補助部分の光量が前記4個の主部分の光量より小さく設定されること等を特徴としている。

【0011】又本発明の像投影方法を用いた半導体デバイスの製造方法は、回路パターンを照明し、該回路パターンで生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて該回路パターンの像をウエハー上に投影し、該ウエハーに該回路パターン像を転写することにより半導体デバイスを製造する半導体デバイスの製造方法において、前記瞳に以下の条件を満たす有効光源を形成する光で前記微細パターンを照明することを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【0012】条件：前記瞳の中心を原点とし前記微細パターンの縦横パターンの各方向にx、y軸を有するxy座標系を定めた時に、前記有効光源が、各々が(a, a)、(-a, a)、(-a, -a)、(a, -a)の

位置近傍にある互いに光量がほぼ等しい4個の主部分と、互いに光量がほぼ等しい4個の補助部分と、を含むこと、としている。

【0013】

【実施例】図1は本発明の半導体デバイスの製造方法を投影露光装置に適用したときの要部概略図である。

【0014】図1において、Mはレチクルであり、レチクルMには回路パターンが形成されている。Wはウエハーであり、ウエハーWにはレジストが塗布してある。10は投影露光装置の光軸、20は光源（1次光源）、30は光源20からの光をレチクルMに向ける照明光学系、30Aは照明光学系30の開口絞り（絞り）であり、絞り30Aは照明光学系30の不図示の光学式インテグレーター（フライアイレンズ）の光射出面の近傍に置かれ、光学式インテグレーターと共にその開口に2次光源を形成する。40はレチクルMを保持するレチクルステージ、50は照明光学系30の環状の2次光源からの光束で均一照明されたレチクルMの回路パターンの縮小像を投影する投影レンズ系、50Aは投影レンズ系50の開口絞り（絞り）であり、この絞り50Aが投影レンズ系50の瞳を定める。ここでは絞り50Aの開口の位置を瞳位置として説明を行なう。60はウエハーWを保持するウエハーステージであり、ウエハーステージ60はウエハーW上の表面が投影レンズ系50によるレチクルMの回路パターンの結像面に一致するようウエハーWを保持する。

【0015】以上の構成で、光源20と照明光学系30とを用いてレチクルMを照明すると、レチクルMの回路パターン（主として縦横パターンの集合より成る。）で生じる回折光が投影レンズ系50の絞り50Aの開口に捕らえられ、投影レンズ系50が、これらの回折光によりレチクルMの回路パターンの像をウエハーW上に投影し、回路パターン像をウエハーWのレジストに転写する。このような露光・転写の工程を経てウエハーWから半導体デバイスが製造される。

【0016】図1の投影露光装置では、照明光学系30の絞り30Aの位置と投影レンズ系50の絞り50Aの位置とが互いに共役な位置に設定されており、絞り30Aの開口（2次光源）の像が投影レンズ系50の絞り50Aの開口中に投影される。従って、絞り30Aの開口の形状や大きさ（2次光源の形状や大きさ）を後述するように適宜定めることにより、絞り50Aの開口、即ち瞳に形成する絞り30Aの開口像、即ち有効光源の形状と大きさが決る。尚、絞り50Aの開口は円形である。

【0017】図2は図1の投影露光装置の投影レンズ系50の瞳（以下、「瞳50A」と記す。）に形成される有効光源の主部分と補助部分の実施例1の模式図を瞳の半径を1として示している。図3に図1の投影露光装置の照明光学系30の絞り30Aの正面図を示す。尚、図2では投影レンズ系50の瞳50Aの中心を原点にした

10

20

30

40

50

xy座標系に瞳50Aと有効光源を図示している。このxy座標系のx軸はレチクルMの横パターン（「横」方向に伸びる線状パターン）の長手方向に、このxy座標系のy軸はレチクルMの縦パターン（「縦」方向に伸びる線状パターン）の長手方向に対応している。

【0018】尚、図2において21a~21dが主部分（主有効光源という。）22a~22dが補助部分（補助有効光源という。）を示している。

【0019】本実施例では瞳50Aに形成される有効光源の形状や配置等は瞳50Aと共役関係にある照明光学系30の絞り30Aの開口形状を特定することにより設定している。

【0020】今、仮りに瞳面上における有効光源形状として図2において補助部分22a~22dを除去した例えば図4に示すようなものを用いたとする。図4において41a~41dは有効光源（主有効光源）、50Aは瞳である。

【0021】ここで座標軸は集積回路を設計するとき用いられる主たる方向となる直交軸をx軸及びy軸とした。つまり集積回路の殆どのパターンは縦横がこのx、y軸に平行である。

【0022】図4のような有効光源形状は集積回路パターンの縦横のパターンの解像力を大幅に向上させる効果をもつが、斜めのパターン（主にx及びy軸と±45°方向のパターン）については、それほど向上しない。

【0023】その理由を図5に示す。図5（B）に示すように縦横のパターンの0次と1次、又は0次光と-1次回折光のベアはx、y軸に平行に並ぶ。そのため図5（A）の有効光源に丁度良く入るので、縦横パターンの解像力が向上する。ところが図5（C）のような斜めのパターンの回折光のベアは図5（A）の有効光源に効率良く入らない。そのため、斜めのパターンの解像力はそれほど向上しない。

【0024】ここで、もし斜めのパターンの解像力を向上させたい場合には、図4の有効光源41a~41d以外の部分に強度が等しいか又は弱い補助有効光源を置けば良い。強度が等しいか又は弱いとしたのは、一般に集積回路パターンでは、縦及び横のパターンが支配的なので、図4の有効光源の強度よりも強度が強くなると、縦横のパターンよりも斜めのパターンの解像力が良くなるからである。

【0025】もちろん、縦よりも斜めのパターンが支配的な集積回路においては、図4の有効光源以外の部分の補助有効光源の方の強度を強くすれば良い。

【0026】このことを以下に詳しく述べる。瞳内において、図4の有効光源がある領域をAとし、A以外の領域にある有効光源の領域をBとする。又、瞳の座標

(x, y) の関数として有効光源の強度をI(x, y)とする。このとき領域Aの有効光源の総強度を

【0027】

【数1】

$$I_A = \iint_{A \text{ の領域}} I(x, y) dx dy$$

領域Bの有効光源の総強度を

【0028】

【数2】

$$I_B = \iint_{B \text{ の領域}} I(x, y) dx dy$$

とすると、斜めのパターンよりも縦横のパターンの解像力を重視するときには $I_A > I_B$ とすれば良く、縦横のパターンと斜めのパターンの両方の解像力を重視するときは $I_A = I_B$ とすれば良く、縦横のパターンよりも斜めのパターンの解像力を重視するときには、 $I_A < I_B$ とすれば良い。

【0029】又、一般には図4の有効光源に、その領域A以外の補助有効光源を加えると図4の有効光源だけのときよりも斜めのパターンの解像力は向上するが、縦横のパターンの解像力は若干低下する。

【0030】従って、集積回路パターンの方向性によって有効光源の形状を変えることが大切である。このためには例えば回路パターンのレチクルを画像処理して、その回路パターンの主要な方向性を解析し、その回路パターンに最も良く合った照明方法を選ぶ。又はレチクルにその回路パターンの方向性の情報を組み込んだバーコードをつけておき、そのバーコードを読むことにより、その回路パターンに最も良く合った照明方法を選ぶといったことをすれば良い。

【0031】前述した図2の実施例1はこのようなことを考慮した補助有効光源の取り方を示している。

【0032】図2の有効光源形状は図4の有効光源41a~41dに加えてx及びy軸上にその個々の強度の重心がある4つの補助有効光源22a~22dを設けた場合である。又、それぞれの補助有効光源22a~22dの瞳の中心からの距離は4つとも互いに等しいことが望ましく、4つの補助有効光源の強度も互いに等しいことが望ましい。斜めのパターンの高解像を狙う場合には補助有効光源は瞳の中心から離れる方向に置けば良い。

【0033】図2は4つの主有効光源21a~21dの個々の強度の重心がそれぞれ瞳の中心から距離RAにあり、x、y軸と±45°をなす直線上にある。

【0034】

【外2】

そして、それらの強度の重心を中心とする半径 $r_A$ の円形の形状であり、総強度は $I_A$  ( $I_A = \iint_{A \text{ の領域}} I(x, y) dx dy$ ) である。

又、4つの補助有効光源22a~22dの個々の強度の \* [0035]  
重心は、それぞれ瞳の中心から距離 $R_A$ にあり、 $x, y$  [外3]  
軸上にある。 \*

そして、それらの強度の重心を中心とする半径 $r_B$ の円形の形状であり、総強度は $I_B$  ( $I_B = \iint_{B \text{ の領域}} I(x, y) dx dy$ ) である。

本実施例における補助有効光源22a~22dの形状は特に円形である必要はなく、どんな形でも良いが、その個々の強度の重心は $x, y$ 軸上にあることが望ましい。又、主有効光源21a~21dと補助有効光源22a~22dの合計8個の有効光源は、互いに比較的弱い光を介して連続していて(つながっていて)も良い。

【0036】本実施例においてパターン形状に応じて高解像力化及び焦点深度の拡大を図るには図2のパラメータについて、以下の条件を満たすのが良い。

【0037】(イ) 斜めよりも縦横パターンの解像力深度を重視したい場合、

$$I_A > I_B$$

$$0.1 \leq R_A \leq 0.9$$

$$0.1 \leq R_B \leq 0.9$$

(ロ) 縦横と斜めのパターンの解像力深度を同等に重視したい場合、

$$I_A = I_B$$

$$0.1 \leq R_A \leq 0.9$$

$$0.1 \leq R_B \leq 0.9$$

(ハ) 縦横よりも斜めのパターンの解像力深度を重視したい場合、

$$I_A < I_B$$

$$0.1 \leq R_A \leq 0.9$$

$$0.1 \leq R_B \leq 0.9$$

図6の実施例2は図2に示す実施例1の特別な場合である。本実施例では図2のパラメータにおいて、 $R_A = R_B$ 、 $r_A = r_B$ 、 $I_A = I_B$ なる8個の有効光源が、瞳50Aの中心に対して45°の整数倍だけ回転しても同じ形になるような回転対称形状をなしている。この場合、縦横と斜めのパターンの解像力は同じである。

【0038】又、図7の実施例3は前記の図6の形の有効光源において $I_A \geq 1$ としたものである。このときには斜めよりも縦横のパターンの解像力が向上する。

【0039】図8~図10に本発明において計算(計算機シミュレーション)により得られた解像力と焦点深度との関係を示す。

【0040】図8~図10では光源としてi線(365nm)、NA=0.52の投影レンズで5本の1次元ライン&スペースのバーチャートを結像したときの、70

%コントラストにおける焦点深度とバーチャートの線幅を示している。尚、実験により現在のレジストと70%コントラストにおける結果が一致することが確かめられている。

【0041】図8において「×」印は従来の有効光源である。即ち中心部分の光強度が最も強く、周辺にいくに従い低下するガウス分布より成る場合である。

【0042】又、「+」印と「◇」印は図4の有効光源形状におけるパラメータ、 $R=0.5$ 、 $r=0.3$ のときの縦横のパターンと斜めパターンの計算結果である。

【0043】図9において「×」印は従来の有効光源、「+」印と「◇」印は図2の有効光源形状におけるパラメータ、 $R_A=0.5$ 、 $r_A=0.3$ 、 $R_B=0.5$ 、 $r_B=0.1$ のときの縦横のパターンと斜めパターンの計算結果である。

【0044】図10において「×」印は従来の有効光源、「+」印は図6の有効光源形状であり、パラメータは $R_A=R_B=0.5$ 、 $r_A=r_B=0.1$ 、8個全ての強度は等しい。この場合、縦横と斜めのパターンの間に解像力深度の差はない。

【0045】「◇」印と「△」印は図7の有効光源形状であり、パラメータは $R_A=R_B=0.5$ 、 $r_A=r_B=0.1$ の縦横パターンと斜めパターンの計算結果である。

【0046】図7において主有効光源71a~71dは補助有効光源72a~72dに比べて光強度が2倍強い。即ち $I_A=2 \cdot I_B$ である。

【0047】図8~図10に示す計算結果より次のことが言える。

【0048】(A) 図9に示すように図2の有効光源による方法は図8に示すように図4の有効光源による方法よりも、斜めのパターンの解像力と焦点深度が向上する。例えば線幅0.45μmの斜めのパターンについて図4の方法では焦点深度1.26μm、図2の方法によると焦点深度は1.40μmとなり、焦点深度は約11%向上する。同じく線幅0.40μmにおいては、深度が0.70μmから0.96μmに向上し、37%も深度が向上している。又ステッパーの実用的に許容できる焦点深度の限界を1.5μmとすると、斜めのパターン

について図4の方法での解像力の限界 $0.5\mu\text{m}$ から $0.475\mu\text{m}$ に向上している。これは比にして約5%の向上である。

【0049】(B)図10に示すように図6の有効光源を用いると縦横と斜めのパターンの間に解像力深度の差はない。そのため、この有効光源による方法は、縦横と斜めのパターンを同等に重視する場合に向いている。又回路パターンの結像における近接効果が少ないことも示している。又図4に示す方法に比べて斜めのパターンについて線幅 $0.45\mu\text{m}$ で焦点深度は $1.26\mu\text{m}$ から $1.76\mu\text{m}$ に向上(40%)、線幅 $0.4\mu\text{m}$ で焦点深度は $0.70\mu\text{m}$ から $1.45\mu\text{m}$ に向上(107%)し、飛躍的に深度が伸びることがわかる。ステッパーの実用的に許容できる焦点深度の限界を $1.5\mu\text{m}$ とすると、斜めのパターンについて、図4の方法での解像力の限界 $0.5\mu\text{m}$ から $0.4\mu\text{m}$ に向上している。これは比にして約25%の向上である。

【0050】(C)図10に示すように図7の有効光源を用いると縦横のパターンの解像力深度を斜めのパターンの解像力深度よりも向上させることができる。即ち、この場合は主有効光源71a~71dの面積SAを補助有効光源72a~72dの面積SBより大きくするのではなく(面積SAと面積SBは等しい)、面積SBよりも面積SAの強度を強くすることにより、前記の総強度が $I_A > I_B$ となり、縦横のパターンの解像力を向上させている。

【0051】以上のように本実施例は一集積回路の斜めのパターンの解像力の向上に特に有効である。

【0052】図11、図12は各々本発明に係る有効光源の実施例4、5の説明図である。図11において111a~111dは主有効光源、112a~112hは補助有効光源である。図12において121a~121dは主有効光源、122a~122hは補助有効光源である。図11、図12の実施例4、5の特徴は図4の有効光源に補助有効光源が8個加えられていることである。

【0053】この補助有効光源は図においてx軸の正方向から反時計回りに計った角度を $\theta$ とすると、ほぼ $\theta = 22.5^\circ, 67.5^\circ, 112.5^\circ, 157.5^\circ$  \*  

$$0.1 \leq R_A \leq 0.9$$

$$0.1 \leq R_B \leq 0.9$$

とすることである。

【0061】図13に実施例4、5において計算より得られた解像力と焦点深度との関係を示す。図13では光源としてi線(365nm)、NA=0.52の投影レンズで5本の一次元ライン&スペースのバーチャートを結像したときの70%コントラストにおける焦点深度とバーチャートの線幅を示している。図13において

「×」印は従来の有効光源である。「+」印と「◇」印は図11、図12で示す有効光源であり、パラメータ $R_A = R_B = 0.5$ 、 $r_A = r_B = 0.1$ 、 $I_A = I_B$ で

\* $^\circ$ 、 $202.5^\circ, 247.5^\circ, 292.5^\circ, 337.5^\circ$  (即ち $\theta = 45^\circ \times \text{整数} + 22.5^\circ$ )の角度をx軸となす直線上に有効光源の強度の重心があることを特徴としている。

【0054】又、各主有効光源の瞳50Aの中心からの距離は等しく( $R_A$ とする)、各補助有効光源の瞳50Aの中心からの距離も等しい( $R_B$ )ことが望ましい。各主有効光源の強度の等しく、各補助有効光源の強度も等しいことが望ましいが、主有効光源と補助有効光源の強度は異なってもかわまない。主有効光源と補助有効光源の合計12個の有効光源は、互いに比較的弱い光を介して連続して(つながって)いてもかわまない。

【0055】又、個々の有効光源の形状は図11、図2のように円形である必要はなく、任意の形で良いが、重心は前記の位置にあることが望ましい。

【0056】次に図11、図12に示す有効光源形状が、ステッパーの解像力深度向上に有効な理由を示す。

【0057】図11、図12の主有効光源(111a~111d、121a~121d)はそれぞれx、y軸と $\pm 45^\circ$ をなす直線上にある。有効光源要素のみから成る有効光源は図4で与えられた有効光源形状であり、主に縦横の回路パターンの0次及び $\pm 1$ 次回折光をベアで取り入れることにより、解像力深度を向上させている。

【0058】又、補助有効光源要素は図4の有効光源形状による回路パターンの解像の欠点を補うために加えられたものである。例えば補助有効光源要素があることにより、斜めの回路パターンの0次と $\pm 1$ 次回折光の2つの回折光のベアの入る率が高くなるので、当然斜めのパターンの解像力深度は向上する。

【0059】本実施例においてパターン形状に応じて高解像力化及び焦点深度の拡大を図るには以下のパラメータで図11、図12のような有効光源を形成すれば良い。

【0060】図11の主有効光源111a~111dの強度の重心位置の瞳50Aの中心からの距離を $R_A$ 、半径を $r_A$ 、又補助有効光源112a~112hの強度の重心位置の瞳の中心からの距離を $R_B$ 、半径を $r_B$ とする。このとき

$$0.1 \leq R_A \leq 0.4$$

$$0.05 \leq r_B \leq 0.4$$

ある。

【0062】図13に示すように本実施例によれば従来型の有効光源形状に比べて、解像力が飛躍的に向上していることがわかる。ステッパーの実用的に許容できる焦点深度の限界を $1.5\mu\text{m}$ とすると、縦横のパターンに対して、従来型の限界 $0.53\mu\text{m}$ から $0.37\mu\text{m}$ (約43%の向上)に、又斜めのパターンに対しては、従来型の限界 $0.53\mu\text{m}$ から $0.43\mu\text{m}$ (約23%の向上)に飛躍的に向上している。

【0063】図4の有効光源の方法と比べると、縦横パ



ターンに対する焦点深度はあまり変わらないが、斜めのパターンに対する焦点深度は向上している。ステッパーの実用的に許容できる焦点深度の限界を $1.5\mu\text{m}$ とすると、斜めのパターンに対しては図4の解像力の限界 $0.5\mu\text{m}$ から $0.43\mu\text{m}$ (約16%の向上)に向上していることがわかる。以上のように本実施例の有効光源は回路パターンの解像力向上にきわめて有効である。

【0064】図14は本発明に係る有効光源の実施例6の説明図である。図14において $A_1 \sim A_4$ は主有効光源、 $B_1 \sim B_8$ は補助有効光源である。

【0065】本実施例における有効光源形状は主に3つのパラメータ $a$ 、 $b$ 、 $L$ で表わすことができる。

【0066】即ちパラメータ $a$ は $A_1$ と $A_2$ 、 $A_2$ と $A_3$ 、 $A_3$ と $A_4$ 、 $A_4$ と $A_1$ の強度の重心の間の距離パラメータ $b$ は $B_1$ と $B_2$ 、 $B_2$ と $B_4$ 、 $B_4$ と $B_8$ 、 $B_8$ と $B_7$ の強度の重心の間の距離

パラメータ $L$ は $b$ の中心と、瞳の中心を結ぶ距離 \*

$$A_1 \left( \frac{a}{2}, \frac{a}{2} \right), A_2 \left( -\frac{a}{2}, \frac{a}{2} \right) \\ A_3 \left( -\frac{a}{2}, -\frac{a}{2} \right), A_4 \left( \frac{a}{2}, -\frac{a}{2} \right)$$

である。

【0070】補助有効光源 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 、 $B_4$ 、 $B_5$ 、 $B_6$ 、 $B_7$ 、 $B_8$ は新たに加えられたものであ

\*  $i_A$  :  $A_1 \sim A_4$ の強度

$i_B$  :  $B_1 \sim B_8$ の強度

【0067】

【数3】

$$I_A = \iint_{A \text{ の領域}} i_A dx dy$$

$$I_B = \iint_{B \text{ の領域}} i_B dx dy$$

である。

【0068】主有効光源 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ は図4で与えられた有効光源形状であり、各々の強度分布の重心の座標は、

【0069】

【数4】

り、各要素の強度分布の重心の座標は

【0071】

【数5】

13

14

$$\begin{aligned}
 B_1 & \left( \frac{L}{\sqrt{2}} + \frac{b}{2\sqrt{2}}, \frac{L}{\sqrt{2}} - \frac{b}{2\sqrt{2}} \right) \\
 B_2 & \left( \frac{L}{\sqrt{2}} - \frac{b}{2\sqrt{2}}, \frac{L}{\sqrt{2}} + \frac{b}{2\sqrt{2}} \right) \\
 B_3 & \left( -\frac{L}{\sqrt{2}} + \frac{b}{2\sqrt{2}}, \frac{L}{\sqrt{2}} + \frac{b}{2\sqrt{2}} \right) \\
 B_4 & \left( -\frac{L}{\sqrt{2}} - \frac{b}{2\sqrt{2}}, \frac{L}{\sqrt{2}} - \frac{b}{2\sqrt{2}} \right) \\
 B_5 & \left( -\frac{L}{\sqrt{2}} - \frac{b}{2\sqrt{2}}, -\frac{L}{\sqrt{2}} + \frac{b}{2\sqrt{2}} \right) \\
 B_6 & \left( -\frac{L}{\sqrt{2}} + \frac{b}{2\sqrt{2}}, -\frac{L}{\sqrt{2}} - \frac{b}{2\sqrt{2}} \right) \\
 B_7 & \left( \frac{L}{\sqrt{2}} - \frac{b}{2\sqrt{2}}, -\frac{L}{\sqrt{2}} - \frac{b}{2\sqrt{2}} \right) \\
 B_8 & \left( \frac{L}{\sqrt{2}} + \frac{b}{2\sqrt{2}}, -\frac{L}{\sqrt{2}} + \frac{b}{2\sqrt{2}} \right)
 \end{aligned}$$

である。

【0072】各々の12個の有効光源の形は図14のように円形である必要はなくどんな形でも良いが、その個々の強度の重心はほぼ前記の座標にあることが望ましい。又、各12個の有効光源は互いに比較的弱い光を介して連続していて（つながっていて）も良い。又、各主有効光源 $A_1 \sim A_4$ の強度は互いに等しく、各補助有効光源 $B_1 \sim B_8$ の強度も互いに等しいことが望ましい。ただし、主有効光源と補助有効光源の強度は異なってもかまわない。

【0073】次に図14に示す有効光源がステッパーの解像力向上に威力を発揮する理由を述べる。

【0074】縦横の回路パターンに対しては、図4に示すのと同様の有効光源（ $A_1 \sim A_4$ ）が威力を発揮し、図15の黒丸のペアのように0次と1次回折光または0次と-1次回折光のペアが有効光源 $A_1 \sim A_4$ に入り、結像に寄与する。

【0075】このときには、各回折光の間の距離が $a$ であるような回折光のペアが最も効率良く有効光源に入ることができる。これは回路パターンの線幅 $d_1 = \lambda / (2a \cdot NA)$ に対応している。ここで、 $\lambda$ ：照明光の波長、 $NA$ ：投影光学系の $NA$ 、瞳の半径 $=1$ とした。

【0076】又、斜めの回路パターンに対しては、補助有効光源 $B_1 \sim B_8$ が威力を発揮し、図15のように $B_1$ と $B_2$ のペア、 $B_3$ と $B_4$ のペア、 $B_5$ と $B_6$ のペア、 $B_7$ と $B_8$ のペア

のペアに、回折光のペアが入る。このときには、各回折光の間の距離が $b$ であるような回折光のペアが最も効率良く、有効光源に入ることができる。これは回路パターンの線幅 $d_2 = \lambda / (2b \cdot NA)$ に対応している。

【0077】つまり、図14の有効光源は、縦横のパターンの線幅 $d_1$ 、斜めのパターンの線幅 $d_2$ に注目して決めた有効光源である。

【0078】本実施例においてパターン形状に応じて高解像力化及び焦点深度の拡大を図るには図14のパラメータについては以下の値が良い。

【0079】 $0.1 \leq a \leq 1.3$

$0.1 \leq b \leq 1.3$

$0.1 \leq L \leq 0.9$

図16に実施例6において計算より得られた解像力と焦点深度との関係を示す。図16では光源として $i$ 線（365nm）、 $NA=0.52$ の投影レンズで5本の1次元ライン&スペースのバーチャートを結像した時の、70%コントラストにおける焦点深度とバーチャートの線幅を示している。

【0080】図16における「×」印は従来型の有効光源形状による計算結果、「×」印と「◇」印は図14に示す有効光源であり、パラメータは、 $a=0.76$ 、 $b=0.76$ 、 $L=0.88$ 、 $i_s/i_a=2$ 、 $A$ の半径 $=0.25$ 、 $B$ の半径 $=0.05$ である。

50

【0081】図16に示すように本実施例によれば従来型の有効光源形状に比べて解像力が飛躍的に向上していることがわかる。

【0082】ステッパーの実用的に許容できる焦点深度の限界を $1.5\mu\text{m}$ とすると、縦横のパターンに対しては従来型の限界 $0.53\mu\text{m}$ から $0.38\mu\text{m}$ (39%の向上)に、又斜めのパターンに対しては、従来型の限界 $0.53\mu\text{m}$ と変わらない。

【0083】以上のように本実施例は従来の方よりも回路パターンの解像力を向上し、きわめて有効な方法である。

【0084】本発明に係る主有効光源と補助有効光源の形状及び配置は前述した条件を満足するものであればどのようなものでも適用可能である。

【0085】次に複数のレンズを集合させたオプティカルインテグレータ又は絞りを利用した本発明に適用可能な有効光源について説明する。

【0086】図17～図20は本発明において投影レンズ50の瞳50Aに形成させるのに好ましい有効光源に基づく照明光学系30の開口絞りの大きさ及び形状の実施例7～10の概略図である。図中黒く塗りつぶしている領域が光が通過し有効光源を形成する領域を示している。図17～図20においてA<sub>1</sub>～A<sub>4</sub>は主有効光源、B<sub>1</sub>～B<sub>4</sub>は補助有効光源を示している。又図17～図20は投影レンズの瞳に形成される有効光源に相当している。

【0087】本実施例では有効光源の形状は照明光学系30の絞り30Aの開口形状により設定する他、フライアイレンズの各レンズの形状を4角形又は6角形で構成し、このうち所定のレンズを通過するようにして設定しても良い。

【0088】

【発明の効果】本発明によれば前述の如く投影焼き付けを行なう対象とするパターン形状の方向性に応じて適切な照明方法を適用し、高い解像力が容易に得られる像投影方法及びそれを用いた半導体デバイスの製造方法を達成することができる。

【0089】特に本発明によれば縦横のパターンの他に斜めパターンの解像力を向上させることができる等の特長を有している。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の半導体デバイスの製造方法を投影露光装置に適用したときの実施例の要部概略図

【図2】 図1の投影レンズの瞳の有効光源の実施例1の模式図

【図3】 図1の照明光学系の開口絞りの正面図

【図4】 瞳に形成される有効光源の説明図

【図5】 有効光源と回路パターンの回折光の並び方の説明図

【図6】 本発明に係る有効光源の実施例2の説明図

【図7】 本発明に係る有効光源の実施例3の説明図

【図8】 図4の照明法と周波数特性との説明図

【図9】 図2の照明法と周波数特性との説明図

【図10】 図6、図7の照明法と周波数特性との説明図

【図11】 本発明に係る有効光源の実施例4の説明図

【図12】 本発明に係る有効光源の実施例5の説明図

【図13】 図11、図12の照明法と周波数特性との説明図

【図14】 本発明に係る有効光源の実施例6の説明図

【図15】 図14の有効光源による回路パターンの回折光の並び方の説明図

【図16】 図14の照明法と周波数特性の説明図

【図17】 本発明に係る有効光源の実施例7の説明図

【図18】 本発明に係る有効光源の実施例8の説明図

【図19】 本発明に係る有効光源の実施例9の説明図

【図20】 本発明に係る有効光源の実施例10の説明図

【符号の説明】

M レチクル

W ウエハ

20 光源

30 照明光学系

30A 開口絞り

50 投影レンズ系

50A 開口絞り(瞳)

60 ウエハステージ

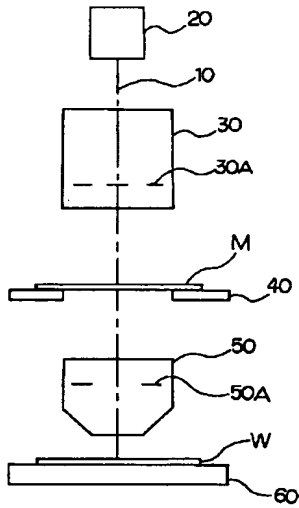
21a～21d 主部分(主有効光源)

71a～71d 主部分(主有効光源)

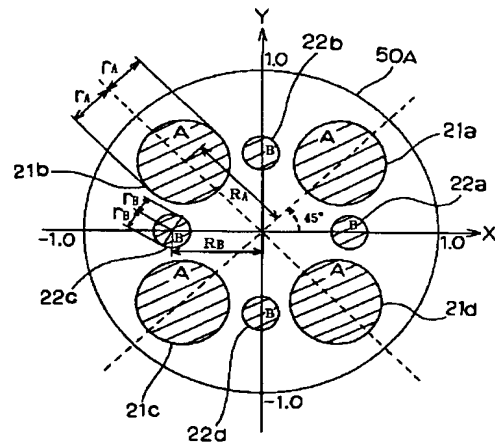
22a～22d 補助部分(補助有効光源)

72a～72d 補助部分(補助有効光源)

【図1】

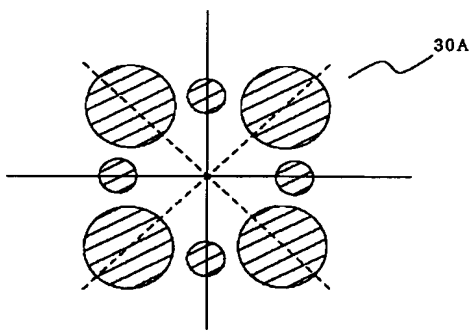


【図2】

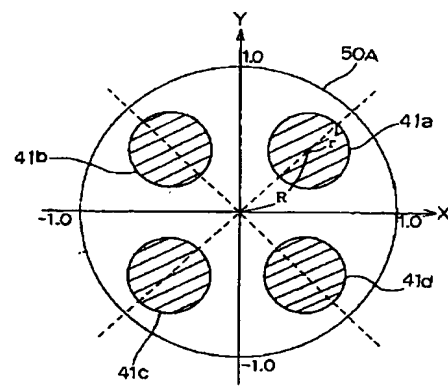


{ A : 軸中心から  $R_A$ , 半径  $r_A$ , 総強度  $I_A$   
 { B : 軸中心から  $R_B$ , 半径  $r_B$ , 総強度  $I_B$

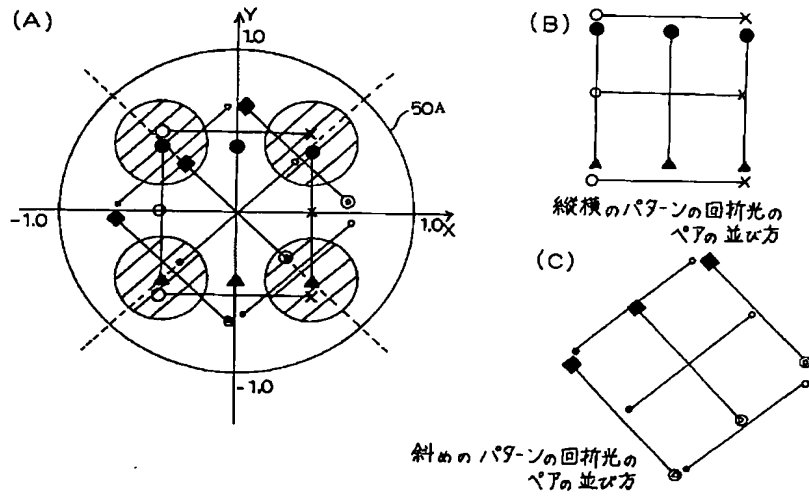
【図3】



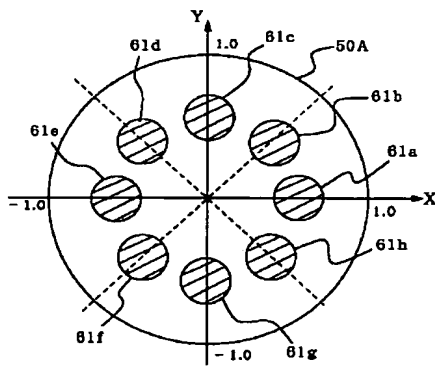
【図4】



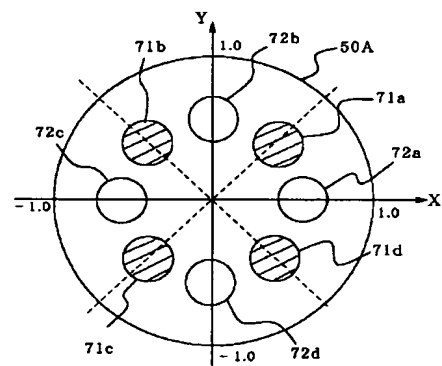
【図5】



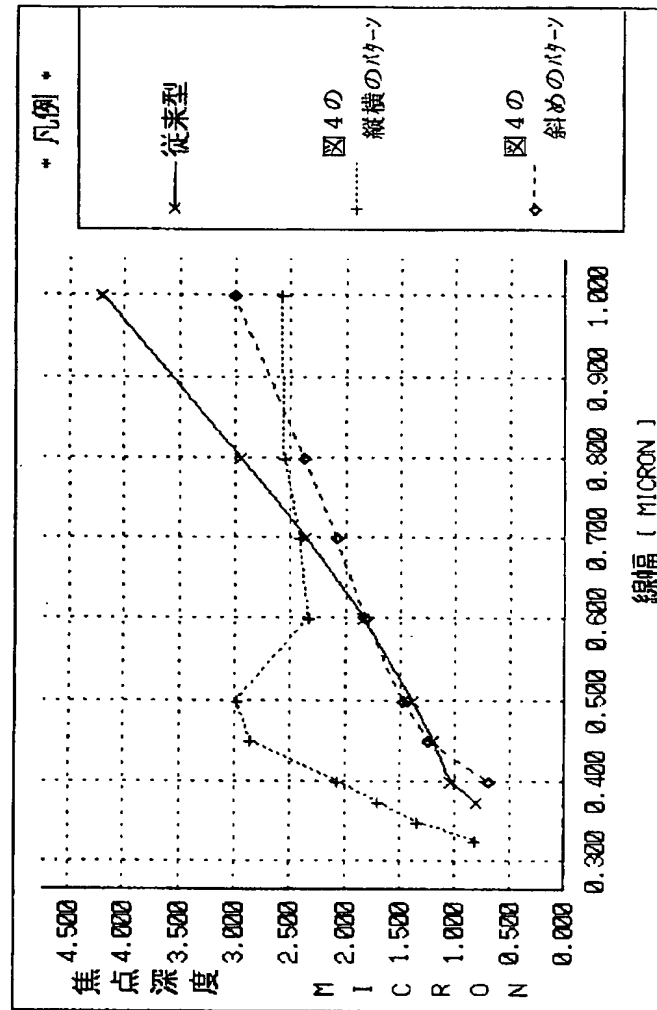
【図6】



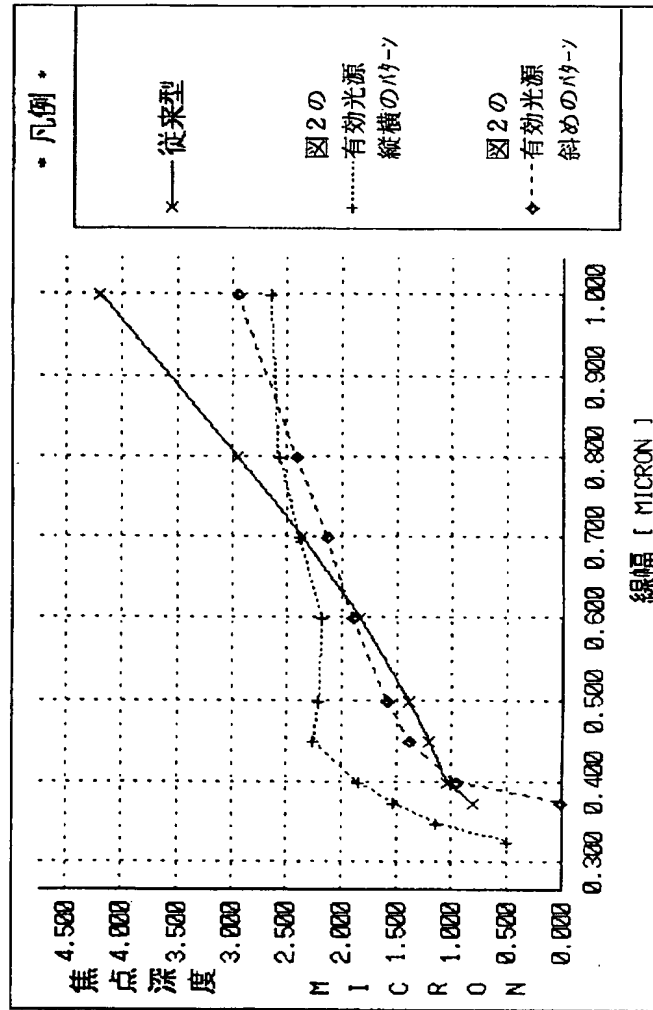
【図7】



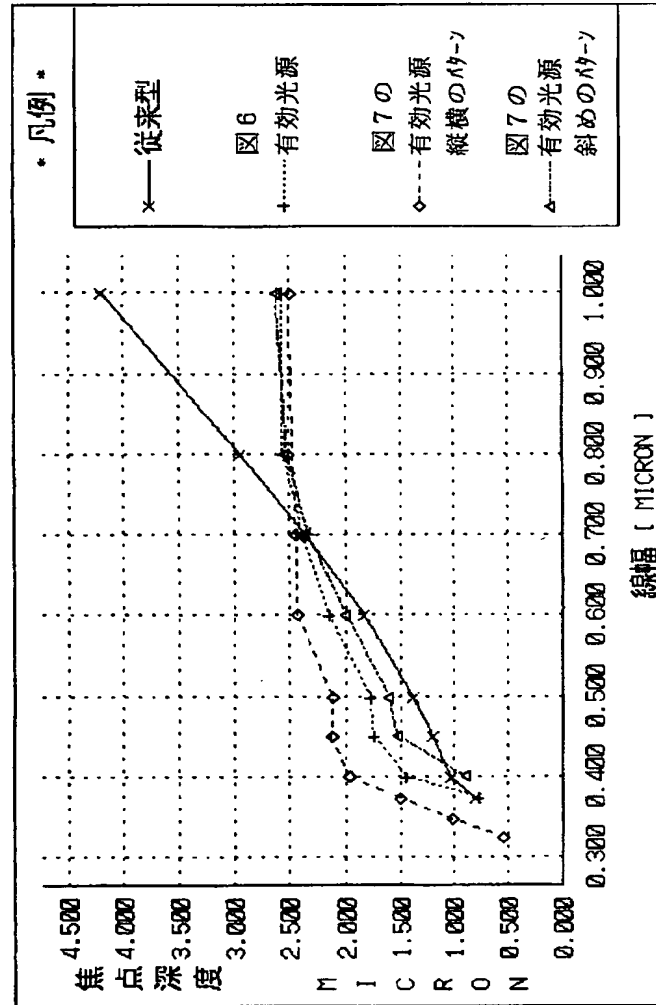
【図8】



【図9】

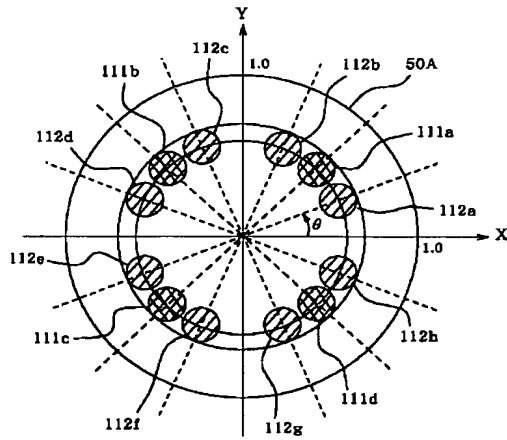


【図10】

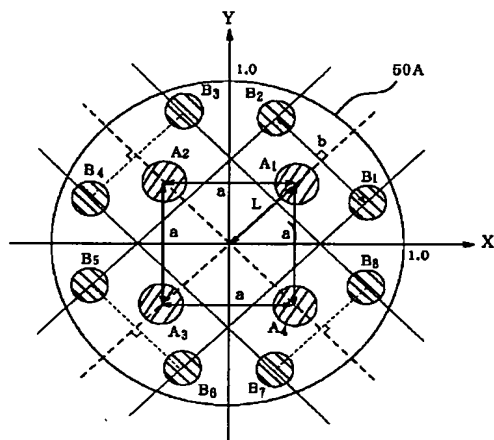




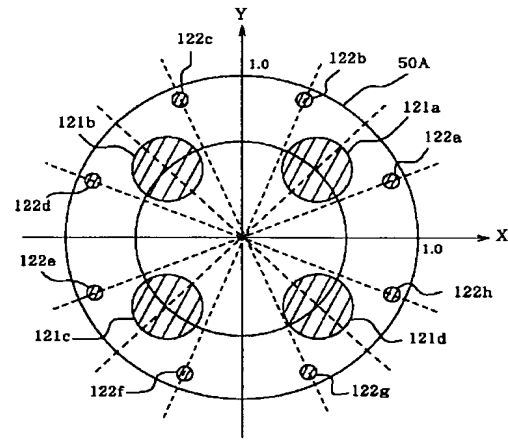
【図11】



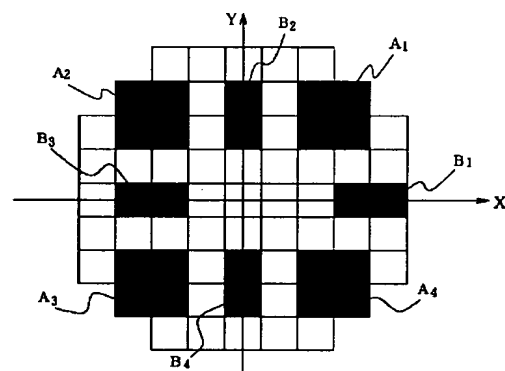
【図14】



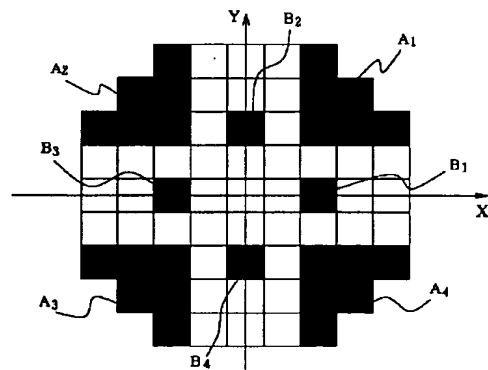
【図12】



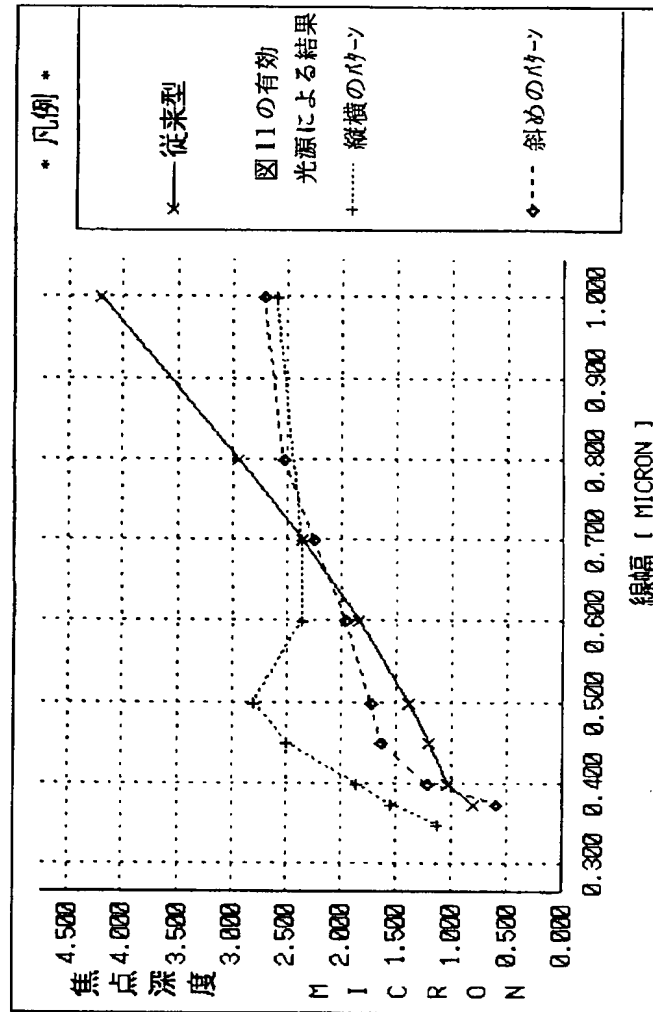
【図17】



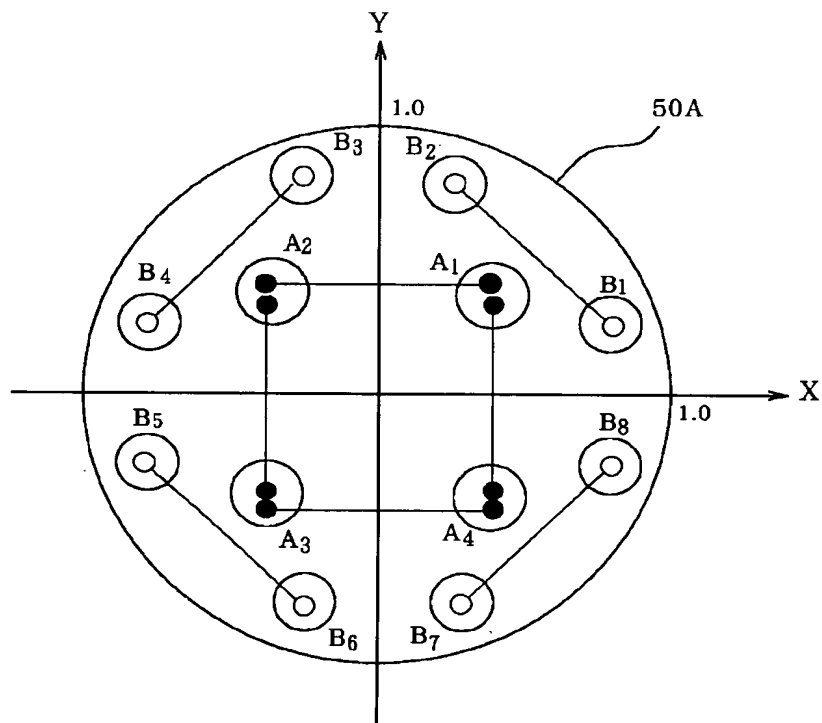
【図18】



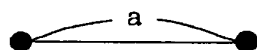
【図13】



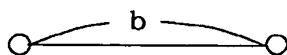
【図15】



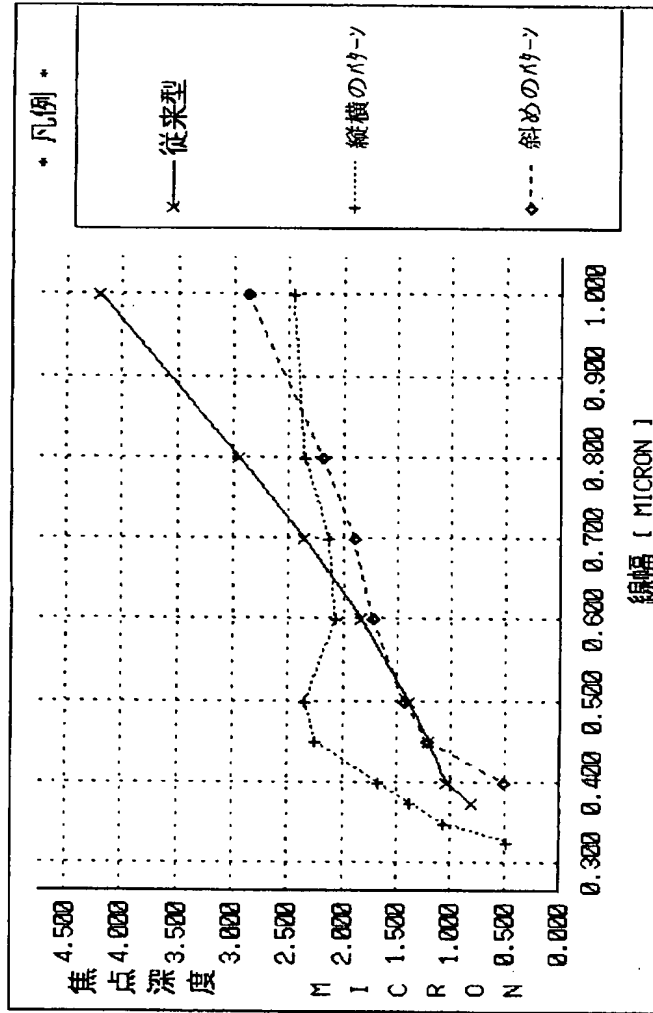
- 縦横のパターンの回折光のペア



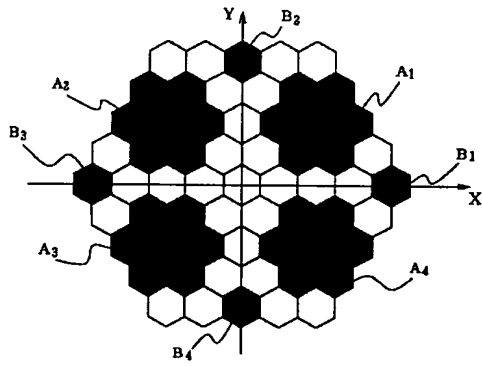
- 斜めのパターンの回折光のペア



【図16】



【図19】



【図20】

